



# **IDŐSOROK ELEMZÉSI LEHETŐSÉGEINEK KITERJESZTÉSE ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA ERDÉSZETI, FAIPARI DÖNTÉSTÁMOGATÁSBAN**

Tézisfüzet

**Pödör Zoltán**

*Informatikai és Gazdasági Intézet*

*Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar Nyugat-magyarországi  
Egyetem*

Témavezető:

**Dr. Jereb László**

*Nyugat-magyarországi Egyetem*

Sopron 2014.

## 1. Motiváció és célok

A különböző szakterületekhez, így az erdőszethez [27, 28] köthető döntéstámogatási módszerek segítik a tudományosan megalapozott szakmai döntések meghozatalát. Egy döntéstámogató rendszer számtalan megközelítést és annak megoldására szolgáló eszközt, módszertant foglal magában, többek között az idősorok vizsgálatának, a közöttük levő kapcsolatok feltárásának és elemzésének lehetőségeit.

Sok olyan terület van, ahol lényeges tényező a gyűjtött adatok időbelisége. Az idősorok egy speciális részét képezik a periodikus idősorok, melyek valamilyen természetes, vagy mesterséges ciklussal rendelkeznek. Ilyen jellegű adatsorok nagy mennyiségben állnak elő az erdőszeti kutatások kapcsán és jellemzően különböző, naptár alapú periódusokhoz köthetőek. Az erdőszethez kapcsolódóan különféle feladatok, problémák sora merült fel, melyek vizsgálata kapcsán három fontos problémakört sikerült azonosítani:

- a független és függő változók közötti kapcsolatrendszerek vizsgálata (az alapproblémát a növekedés és klíma kapcsolatok definiálták),
- a független paraméterek (jellemzően klimatikus komponensek) időbeli stabilitásának kérdése,
- a diszkrét növekedési adatok folytonossá tétele függvényillesztéssel és ennek további felhasználása az adatsorok előkészítésében és az elemzési feladatokban.

A disszertáció keretein belül olyan, a fenti problémákra is alkalmazható általános módszertani megoldás és elemzési folyamat került kidolgozásra, mely jelentősen kiszélesíti az elvégezhető vizsgálatok körét és egységes módon kezeli ezeket a kérdéseket. Az eljárás alkalmazhatósága az erdőszethez köthető problémák kapcsán került bemutatásra. A módszer felhasználhatósága ugyanakkor nem korlátozódik a kidolgozását alapvetően motiváló erdőszeti kérdésekre. A kialakított eljárások minden más olyan területen is alkalmazhatók, ahol a periodikus idősorok közötti kapcsolatok vizsgálata alapvető jelentőségű.

## 2. Alkalmazott módszertan

Az idősorok vizsgálata, a közöttük fennálló kapcsolatok elemzése a statisztika és az adatbányászat egy nagyon fontos, kiemelt területe, ezért az értekezésben elért eredmények ezen szakterülethez köthetők. Az összefüggések vizsgálatának alapvető kérdése a változók közti kapcsolatok erejének meghatározása és az összefüggések függvény-jellegű definiálása. A kapcsolatelemzés első fajtája a korreláció-, az utóbbi a regressziószámítás. A két alapmódszer mellett természetesen számtalan egyéb technika is ismert a kapcsolatok keresésére, illetve az említett alapmódszereknek is sok speciális változata létezik (rangkorrelációk, lineáris-, nemlineáris-regresszió, stb.) [30]. Az

erdészeti szakirodalom alapján további gyakran alkalmazott módszerek a főkomponens-analízis [23], a válaszfüggvény-elemzés [23], illetve az adatok csoportosításában a klaszter-elemzés [18]. A bootstrap és jackknife módszereket [22] az említett összefüggéseket kereső eljárások eredményei stabilitásának javítására alkalmazzák. Az evolúciós és mozgó intervallumos technikák [19, 20] lehetőséget biztosítanak az összefüggések időbeli változásainak vizsgálatára. Utóbbiakat valamely elemző módszerrel együtt szokták alkalmazni.

A megfelelő hosszúságú idősorok esetében fennáll annak a lehetősége, hogy a teljes adatsor nem feltétlenül homogén, lehetnek komoly, ugrásszerű változások benne. Az idősorban töréspontként definiálható az a pont, amely mentén az adatsort kettébontva a két részintervallum adatai között - valamelyik jellemzőjük tekintetében, például átlag, szórás, stb. - statisztikailag is igazolható eltérés mutatható ki. Az ilyen idősorok közötti kapcsolatok, pontosan a függő vagy független változóban talált töréspont(ok) miatt nem tekinthetők alapvetően a teljes vizsgálati időszak vonatkozásában stabilnak. A töréspontok felfedezésére több statisztikai eljárás is ismert [25].

A vizsgálatokban felhasznált mérési adatok általában diszkrét adatsorokat jelentenek, melyek gyakran pontatlanságokkal, zajokkal terheltek. További problémákat jelenthetnek az adathiányok, a kiugró vagy a hibás adatok. Az adatokra történő megfelelő függvény illesztésével ezek a kérdések kezelhetőek, hiszen folytonossá téve az adatsort a zajok hatása kiszűrhető, a hiányos adatok jó közelítéssel pótolhatóak és az egyértelmű adathibák is felderíthetőek, javíthatóak. A függvényillesztés folyamata matematikailag egy többváltozós szélsőérték feladatot definiál, melynek megoldásához egy több ismeretlenes, általában nemlineáris egyenletrendszer közelítő megoldásait kell meghatározni [31]. A feladatot nehezíti, hogy az illesztendő függvényt már a folyamat előtt, az alapadatok ismeretében kell definiálni. A kérdéskör az erdészeti problémák körében a fák éven belüli növekedési adatai kapcsán merült fel. Ez egyben leszűkítette a felhasználható függvények körét is az egy inflexiós ponttal rendelkező S növekedési görbékre [29, 32]. Az illesztett függvények felhasználásával objektív és matematikailag jól definiált módon állíthatóak elő további görbeparaméterek. Az illesztések megvalósításához a Gauss-Newton módszer került alkalmazásra, illetve az Akaike információs kritérium és a korrigált determinációs együttható [21] figyelembevételével dönt el, hogy az egyes illesztések esetén mely modellt tekinthetjük jobbnak.

A kutatások során elvégzett elemzések és a saját módszerek a szabad hozzáférésű R statisztikai szoftverkörnyezetben kerültek megvalósításra.

### **3. Új eredmények**

Az értekezésben megfogalmazott új eredmények két fő témakörhöz kapcsolódnak, melyek egyúttal a két tézis csoportot is definiálják. A dolgozat 2. fejezete a kidolgozott

és létrehozott új elemzési módszert és annak alkalmazhatóságát mutatja be erdészeti példákon keresztül, A 3. fejezetben szereplő eljárások pedig a bemutatott CReMIT módszert alkalmazó elemző folyamat speciális előkészítő lépéseinek tekinthetőek. A 3.1. fejezetben a töréspontokkal kapcsolatos vizsgálatok és az ehhez köthető eredmények, megállapítások jelennek meg, a 3.2. fejezetben a növekedési adatsorokra illeszthető görbékkel kapcsolatos kutatások és értékelések kerülnek bemutatásra. Mindkét vizsgálat a CReMIT módszer kapcsán létrehozott egységes elemző folyamat szerves részének tekinthető, miközben kibővítik a CReMIT módszerbe bevonható paraméterek, és ezen keresztül a vizsgálati lehetőségek körét. Az elért eredmények a következő téziscsoportokba sorolhatók:

### **1. téziscsoport: CReMIT módszer**

Az erdészeti szakirodalmat áttekintve körülhatárolhatóvá vált a fák növekedése, mint függő és a klimatikus paraméterek, mint független változók közötti kapcsolatokat vizsgáló releváns elemzési módszerek köre [4, 5]. Megállapítható volt, hogy rendkívül fontos a különböző időben eltolt és késleltetett időszakok hatásának vizsgálata. A megismert módszerek azonban nem alkalmasak ennek teljes körű és szisztematikus kezelésére, mivel a vizsgált időszakok kijelölése eddig elsősorban megfigyelések alapján, tapasztalati úton történt, hiányzott a teljességre törekvés. Az alkalmazott módszerek általában lineáris jellegű kapcsolatokat keresnek és az idősorok determinisztikus megközelítése a jellemző.

A tapasztalatok alapján az 1. téziscsoport olyan eredményeket fogalmaz meg, amelyek az alkalmazott elemzési módszerektől függetlenül alkalmasak a periodikus idősorok vizsgálatának mélyebbé és komplexebbé tételére.

- 1.1-es tézis: Az alapadatok periodicitásának felhasználásával kidolgozásra került a CReMIT (Cyclic Reverse Moving Interval Techniques) módszer [5, 7, 15, 17], amely egy független változó idősoron értelmezve, szabadon rögzíthető paraméterhatárok között különböző szélességű és eltolású ablakokat állít elő (2.1.1. fejezet).
- 1.2-es tézis: Az ablakok felett olyan transzformált idősorok értelmezhetőek, amelyek alkalmasak a kapcsolatok korábbinál szélesebb körű, szisztematikus feltárására [5, 7, 15, 17] (2.1.2. fejezet).
- 1.3-as tézis: Az eljárás egy magasabb absztrakciós szintre emeli az evolúciós és mozgó intervallumos technikák nyújtotta lehetőségeket [17] (2.1.3. fejezet).
- 1.4-es tézis: Kidolgozásra és bemutatásra került a CReMIT alapmódszer több változóra történő kiterjesztése. A kiterjesztés magában foglalja az alapmódszernek akár a függő, akár több független paraméterre történő

alkalmazását, még inkább kiszélesítve az elemzésbe bevonható változók körét és ezen keresztül az elemzési lehetőségeket [17] (2.2. fejezet).

## **2. tétiscsoport: A CReMIT alkalmazásának támogatása**

A CReMIT módszer - annak gyakorlati felhasználás érdekében - egy elemzési folyamat részeként került megvalósításra. A folyamat három fő részből, az adatelőkészítésből, a CReMIT-ből és az elemző modulokból áll. Az adatelőkészítés után az adatok a második, a CReMIT eljárást végrehajtó transzformációs modulba kerülnek. A keretrendszer harmadik, elemző modulja fogadja a származtatott idősorokat és végrehajtja az előre definiált elemzési folyamatot. A CReMIT modul által előállított származtatott idősorok gyakorlatilag tetszőleges elemző eljárásban felhasználhatóak, ami nagyfokú rugalmasságot biztosít.

A folyamat első modulja a hagyományos értelemben vett adatelőkészítés mellett a vizsgálatba bevonandó idősorok egyéb jellegű előkészítését is magában foglalja, mint a töréspont keresés és az adatosokra megfelelő függvények illesztése. Utóbbiak tovább bővítik a CReMIT modulnak átadható paraméterek és ezen keresztül az elemzési lehetőségek körét.

Az idősorok értékeit meghatározó folyamatokban megjelenhetnek olyan tényezők, melyek az adatsor elemeiben statisztikailag is kimutatható, hirtelen változásokat okoznak. Hosszú idősorok esetében ez felveti az adatsor időbeli stabilitásának a kérdését, amely különösen fontos a klimatikus jellemzőket (pl. csapadék, hőmérséklet) leíró paramétereket felhasználó kutatásokban. Bár több publikáció is foglalkozik a környezeti paraméterek ugrásszerű változásainak vizsgálatával [25, 26], az elvégzett elemzések értékelése során megállapítható volt, hogy az összefüggés vizsgálatokban általában nem fordítanak erre a kérdésre kellő figyelmet. A megalapozatlan következtetések elkerülése, illetve az elemzések eredményeinek finomítása érdekében kutatásaink során ezért figyelmet fordítottunk az adatsorokban megjelenő ugrásszerű változások felderítésére is. A másik előkészítő lépés a növekedési adatsorokra megfelelő függvény illesztése. Ez lehetőséget biztosít több, a hagyományos adatelőkészítéshez tartozó folyamat végrehajtására is, mint például, adattisztítás, zajszűrés, stb.. A fák éven belüli növekedési folyamata jellegzetes szigmoid, S-görbékkel írható le. Ezen egy inflexiós ponttal bíró görbecsalád számtalan függvény-lehetőséget tartalmaz [29, 32]. Az erdészeti szakirodalom áttekintése alapján leszűkíthető, meghatározható volt ezek közül az illesztésekhez jellemzően alkalmazott görbék köre (logisztikus, Richards- és Gompertz-függvények).

A 2. tétiscsoport a kialakított elemzési folyamatra és annak speciális előkészítő lépéseire vonatkozóan fogalmaz meg állításokat.

- 2.1-es tézis: A CReMIT módszer alkalmazásával egy általános elemzési folyamat egy saját keretrendszerbe foglalva került megvalósításra. Az adatelőkészítő, CReMIT és elemző modulokból álló rendszer lehetővé teszi a teljes elemzési folyamat végrehajtását. [5, 7, 15, 17] (3.1. fejezet).
- 2.2-es tézis: Az előkészítő modul részét képezi az a töréspont keresési funkció, amely módot ad arra, hogy a bemeneti adatsorokban statisztikailag igazolható töréspontok kerüljenek meghatározásra, és ez a tény figyelembe legyen vehető az összefüggés vizsgálatokban (3.2. fejezet).
- 2.3-as tézis: Az előkészítő modulnak ugyancsak részét képezi a növekedési adatokra illeszthető függvények. Mintaadatokon a logisztikus, Gompertz és Richards függvények illeszkedése került összehasonlításra, és megállapítható volt, hogy az illesztések eredményei és praktikus szempontok figyelembevételével a Gompertz függvény a legkedvezőbb a növekedési folyamat leírására [6, 8, 16] (3.3. fejezet).

#### **4. Alkalmazási eredmények, továbblépési lehetőségek**

A periodikus idősorok vizsgálatának kiterjesztésére létrehozott CReMIT módszer és az elemző folyamat gyakorlati alkalmazhatóságát a fanövekedés és a klíma [7, 9, 12], illetve lepkefogási adatok [1, 2, 3], a fák egészségi állapota és a klímajellemzők kapcsolatának [10, 11, 13, 14] vizsgálata széles körűen igazolja. A különböző alkalmazások egyértelműen alátámasztják a módszer általános megközelítését, és rámutatnak a széleskörű felhasználhatóságra (2.3. fejezet). A CReMIT módszer alkalmazásának támogatására kialakított elemzési folyamat előkészítő moduljában két speciális technika is kialakításra került. A töréspont keresés segítségével a vizsgált idősorban ugrásszerű változásokat kereshetünk, míg a növekedési adatokra illeszthető görbék segítségével folytonos, és további jellemzők generálására alkalmas adatsorok állíthatóak elő.

A feldolgozott adatok mennyisége feladattól függően változott, a 7-10 faegyed növekmény adattól kezdve a több mint 360 000 rekordot tartalmazó fák egészségi állapotát leíró adathalmazig. A nagylepke fogási adatok 24 fogási hely több mint 20 faj vonatkozásban, több mint 50 évre terjedtek ki egy-és többváltozós CReMIT elemzésekben alkalmazva.

A vizsgált meteorológiai adatsorokban kimutatott töréspontot felhasználásával elvégzett összefüggés vizsgálatok a két részidőszakban egymáshoz képest jelentős eltérést mutattak (erősségben és akár irányban is), és a teljes időszakhoz képest a CReMIT módszer alkalmazásával erősebb összefüggések voltak kimutathatóak az egyes részidőszakokban. (3.2. fejezet)

A diszkrét növekedési adatokra illesztett görbék [6, 8] felhasználhatók a véletlen hatások csökkentésére és az esetleges adathibák, hiányok kezelésére. Az illesztéshez alkalmazott Gompertz-függvény és annak három alapparamétere felhasználható arra, hogy matematikailag objektív módon további, a görbe karakterisztikájához köthető jellemzőket definiáljunk és vizsgáljuk azok elemzésekbe való bevonhatóságának lehetőségeit [16] (3.3. fejezet).

A kutatások, fejlesztések során az alapvető cél olyan eszközök kialakítása volt, amelyekkel támogatható az – elsősorban erdészeti – szakemberek munkája. Mivel a szakterületi eredmények előállítására minden esetben az érintett szakemberek feladata és kompetenciája, fontos feladatnak tekintjük az eddig partnereink további támogatását az értékes szakterületi eredmények elérésében.

A módszer ugyanakkor lehetőséget ad akár egyéb tudományterületeken, akár az ipari környezetben történő alkalmazásra is, s ezen alkalmazások sok esetben ki is jelölik az új informatikai, statisztikai kihívásokat is.

A fentiek figyelembevételével mellett az értekezés eredményei három fő irányban fejleszthetők tovább:

1. A CREMIT modulban alkalmazott  $TR$  transzformációs függvények körének kiterjesztése: A jelenleg alkalmazott  $TR$  függvények folytonos ablakokat definiálnak (átlag, összeg, minimum, maximum). Fontos, az erdészeti területen is gyakran alkalmazott indexek irányába történő továbblépési irányt jelent különböző súlytényezők alkalmazása, amely egyszerű bináris vagy ennél bonyolultabb súlyok alkalmazását is jelentheti.
2. Módszertani fejlesztések: Mivel a jelenleg megvalósított elemzések egy- és többváltozós lineáris összefüggéseket keresnek, természetes továbblépést jelent a nemlineáris jellegű kapcsolatok feltárási lehetőségeinek fejlesztése, illetve más, az adatbányászat területén alkalmazott többváltozós elemzési módszerek alkalmazása
3. Alkalmazási lehetőségek körének szélesítése: A módszer minimális módosítással természetes módon alkalmazható egyéb, az erdészettől eltérő területeken. Példaként említhetők a különböző ipari, gyártósori folyamatok, amelyekben az egymásra épülő lépések miatt természetes módon vannak időben eltolódott kapcsolatok. A módszer lehetőséget biztosít például a selejtszázalék és a technológiai folyamat különböző fázisai közti kapcsolatok vizsgálatára vagy akár a pénzügyi, gazdasági idősorok esetén a bekövetkező, különböző események késleltetett hatásának elemzésére.

Összefoglalva elmondható, hogy a kiinduló, erdészeti problémák megoldására sikerült egy olyan általános módszert és elemzési folyamatot kidolgozni, amely erdészeti

vizsgálatok követelményeinek figyelembevételével szisztematikus alapon bővíti az elemzésbe bevonható változók körét. A kialakított technika ugyanakkor nem szakterület specifikus, mert olyan általános elveken alapul, amelyek bármely, de legalábbis nagyon sok más periodikus idősor esetében is megjelennek. Az elemző folyamat előkészítő moduljában a töréspontok meghatározásával pontosabbá tehető az idősorok közötti összefüggések vizsgálata, míg a görbeillesztés folyamata segít a vizsgált adatsorok előkészítésében és újabb, elemzésben használható paraméterek előállításában.

A kutatásokat a TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0015 számú (Föld-rendszer) projekt is támogatta.



## Irodalomjegyzék

### *Az értekezés témakörében megjelenő saját publikációk:*

- [1] Csóka, Gy., Pödör, Z., Hirka, A., Szócs L., (2012a): Az időjárás tényezők hatása a tölgy búcsújáró lepke (*Thaumetopoea processionea* L.) populációinak fluktuációjára. Magyar Meteorológiai Társaság XXXIV. Vándorgyűlés és VII. Erdő és Klíma Konferencia. Debrecen, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31.
- [2] Csóka, Gy., Pödör, Z., Hirka, A., Führer, E. and Szócs, L. (2012b). Influence of weather conditions on population fluctuations of the oak processionary moth (*Thaumetopoea processionea* L.) in Hungary. Joint IUFRO 7.03.10 – “Methodology of forest insect and disease survey” and IUFRO WP 7.03.06 – “Integrated management of forest defoliating insects” Working Party Meeting, Palanga, 10–14 September 2012.
- [3] Csóka, Gy., Pödör, Z., Hirka, A., Führer E., Móricz, N., Rasztovcics, E., Szócs, L., (2013): Időjárásfüggő fluktuáció a tölgy búcsújáró lepke nyugat-magyarországi populációinál. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest, 2013. 02. 19-20.
- [4] Manninger M., Edelényi, M., Pödör, Z., Jereb, L. (2011): Alkalmazott elemzési módszerek a környezeti tényezők fák növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatában. Erdészettudományi Közlemények, 1(1), 59-70.
- [5] Edelényi, M., Pödör, Z., Jereb, L. (2011b): Speciális elemzési megközelítés a fák növekedése és az időjárás paraméterek közötti kapcsolatok vizsgálatában. Agrárinformatika / Agricultural Informatics (2011) Vol. 2, No. 1, 39-48.
- [6] Edelényi, M., Pödör, Z., Jereb, L., Manninger M. (2011c): Telítődési görbék alkalmazása korlátos növekedési adatsorok vizsgálatában. Országos Gazdaságinformatikai Konferencia, OGIK'2011, Győr
- [7] Edelényi, M., Pödör, Z., Jereb, L., Manninger M. (2011d): Másodlagos idősorokat származtató módszer kifejlesztése és bemutatása erdészeti adatokon. Acta Agraria Kaposváriensis (2011) Vol 15 No 3, 39-49.
- [8] Edelényi M., Pödör Z., Jereb L., Manninger M. (2012): Erdei fák éves növekedésének közelítő leírása függvényekkel. Meteorológiai Társaság

XXXIV. Vándorgyűlés és VII. Erdő és Klíma Konferencia. Debrecen, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31.

- [9] Führer, E., Edelényi, M., Jagodics, A., Jereb, L., Horváth, L., Móring, A., Pödör, Z., Szabados, I., (2012): Az átmérő-növekedés és az időjárás közötti összefüggés egy idős bükkösben. Meteorológiai Társaság XXXIV. Vándorgyűlés és VII. Erdő és Klíma Konferencia. Debrecen, Magyarország, 2012.08.29-2012.08.31.
- [10] Jereb, L., Edelényi, M., Pödör, Z. (2013a): EVH I. szintű mintafák levélvesztés, koronaelhalás és rovarkárosítás intenzitás adatainak vizsgálata. Kutatási jelentés, pp. 91.
- [11] Jereb, L., Edelényi, M., Pödör, Z. (2013b): Mortalitás visszamenőleges vizsgálata az FNM adatokon, Kutatási jelentés, pp. 77.
- [12] Manninger, M., Edelényi, M., Pödör, Z., Jereb, L. (2011b): The effect of temperature and precipitation on growth of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Mátra Mountains, Hungary. Applied Forestry Research in the 21st Century conference, Prága-Pruhonice, 2011.09.13-15.
- [13] Pödör, Z., Kiss, B., Csóka, Gy., Jereb, L. (2013a): Egyes nagylepkefajok Magyarországi fogási adatainak lehetséges klímfüggése – vizsgálati módszertan és előzetes eredmények. Kari Tudományos Konferencia, Sopron, 2013.12.10.
- [14] Pödör, Z., Csóka, Gy., Kiss, B. (2013b): Simple- and Multivariate data analysis of light trap catching data by a systematic window procedure. Decision Support System Workshop and ForestDSS Community of Practice, Lisbon, 4.-6. 12. 2013.
- [15] Pödör, Z., Jereb, L. (2013c): Data analysis approach to investigate the periodic impact of climate on forestry parameters. Decision Support System Workshop and ForestDSS Community of Practice, Lisbon, 4.-6. 12. 2013.
- [16] Pödör, Z., Manninger, M., Jereb, L. (2014a): Application of Sigmoid Models for Growth Investigations of Forest Trees. Applied Mathematics and Applications Conference, Conference Proceedings, Advanced Computational Methods for Knowledge Engineering, Advances in Intelligent Systems and Computing 282, 353-364.

[17] Pödör, Z., Edelényi, M., Jereb L. (2014b): Systematic Analysis of Time Series. Infocommunication Journal, VI(1), 16-21.

***Egyéb hivatkozások:***

[18] Abonyi, J. (2006): Adatbányászat a hatékonyság eszköze, Computerbooks, Budapest 2006, pp.400.

[19] Biondi, F. (1997): Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. Dendrochronologia 15, 139-150.

[20] Biondi, F., Waikul, K. (2004): DENDROCLIM2002: AC++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. Computers & Geosciences 30 (2004), 303–311.

[21] Burnham, K. P. és Anderson, D. R. (2002): Model Selection and Multi-Model Inference. Springer, 2. kiadás, pp. 485.

[22] Efron, B. (1979): Bootstrap methods: another look at jackknife. Ann. Stat., 7, 1-26.

[23] Fritts, H. C. (1976): Tree rings and climate. Academic Press, London, pp. 582.

[24] Joliffe, I. T. (2002): Principal Component Analysis, second edition. Springer, 2002, pp. 518.

[25] Molnár, J. (2003): A légnymási mező szerkezete és módosulása a Kárpát-medence térségében. Doktori értekezés, Debrecen, pp. 170.

[26] Molnár, J., Izsák, T. (2011) Trendek és töréspontok a léghőmérséklet Kárpátalja idősoraiban. Légkör 56(2), 49-54.

[27] Packalen, T., Marques, A. F., Rasinmäki, J., Rosset, C., Mounir, F., Rodriguez, L. C. E., Nobre, S. R. (2013): Review. A brief overview of forest management decision support systems (FMDSS) listed in the FORSYS wiki. Forest Systems 2013 22(2), 263-269.

[28] Reynolds, K. M., Twery, M., Lexer, M. J., Vacik, H., Ray, D., Shao, G., Borges, J. G. (2008): Handbook on Decision Support Systems 2, 499-533.

[29] Sit, V. and Poulin-Costello, M. (1994): Catalog of curves for curve fitting. BC Ministry of Forests Biometrics Information Handbook No. 4. pp. 110.

- [30] Tusnádi Gábor és Ziermann Margit (szerk): Idősorok analízise, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986, pp 339.
- [31] Veress, K. (2007): A Newton és Gauss-Newton módszerek alkalmazása egyenletrendszerek megoldására és nemlineáris optimalizálásra. Egyetemi jegyzet, Szeged, pp. 46.
- [32] Zeide, B. (1993) Analysis of Growth Equations. Forest Science 39(3), 594-616.